

# 无接触网有轨电车车地无线传输系统研究<sup>\*</sup>

刘 佳<sup>1,2</sup> 张福景<sup>1,2</sup> 杜晓明<sup>1,2</sup>

(1. 中车大连电力牵引研发中心有限公司, 116052, 大连;

2. 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室, 116052, 大连//第一作者, 电气产品设计师)

**摘 要** 针对无接触网有轨电车设计了一套基于大数据分析技术及物联网技术的车地无线传输系统。介绍了该系统的系统架构、系统功能及设计要点。该系统能够显著提升列车车地数据传输的安全性、高效性及便捷性, 提高了无接触网有轨电车车地传输技术和智能化应用水平。同时, 该系统具有良好的可扩展性, 可满足各类城市轨道交通车辆车载设备调试、维护以及数据传输的应用需求。

**关键词** 有轨电车; 车地无线传输系统; 数据分析

**中图分类号** U482.1.9

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2020.05.033

## Research on Wireless Train-ground Data Transmission System for Trams Powered by Contactless Power Supply

LIU Jia, ZHANG Fujing, DU Xiaoming

**Abstract** A wireless train-ground data transmission system based on big data analysis and Internet of Things was designed for trams powered by contactless power supply. The architecture, functions and design features of this system were introduced elaborately. The system can significantly improve the security, efficiency and convenience of train-ground data transmission, and can elevate the levels of train-ground transmission technology and intelligent application for the trams powered by contactless power supply. At the same time, the system has good scalability to meet the needs of various urban rail transit vehicles for on-board equipment commissioning, maintenance and data transmission.

**Key words** tram; wireless train-ground data transmission system; data analysis

**First-author's address** CRRC Dalian R&D Co., Ltd., 116052, Dalian, China

车地无线传输系统承担着有轨电车与地面系统之间信息交互的重要职能, 是实现城市轨道交通网络化运营的重要载体。伴随着列车网络技术的

不断提高, 有轨电车车辆逐步向着更加舒适化、智能化的方向发展, 列车车载设备越来越多, 面向乘客的服务信息越来越丰富, 通信数据量也越来越大<sup>[3]</sup>。传统车辆总线受其自身通信能力的制约, 已难以适应未来列车大数据通信的应用需求。此外, 随着大数据在发展功能性智慧城市和支持现代社会方面影响力的扩大<sup>[4]</sup>, 城市轨道交通领域对大数据技术的需求愈发凸显, 物联网、大数据等新兴电子信息技术在城市轨道交通领域的大规模应用, 俨然已成为未来有轨电车重要的发展方向。在列车通信数据量急剧增加的今天, 如何保证如此庞大的重要信息集在车地间安全可靠传送, 为地面数据分析平台做好数据可靠性支撑, 已成为有轨电车车地无线传输系统设计的一个亟需解决的问题。

无接触网有轨电车全车采用的以太网通信技术, 具有通用性强、集成度高、传输速率快、大带宽及易拓展等特点, 因此采用以太网通信技术的有轨电车为研究车地无线数据实时可靠传输、地面大数据分析平台应用提供了良好的研究平台。

本文以无接触网有轨电车为研究对象, 进行依托于大数据及物联网技术的车地无线传输系统的设计, 以有效提高车地传输技术的智能化应用水平, 为实现智能运维提供一定的技术支撑。

## 1 车地无线传输系统

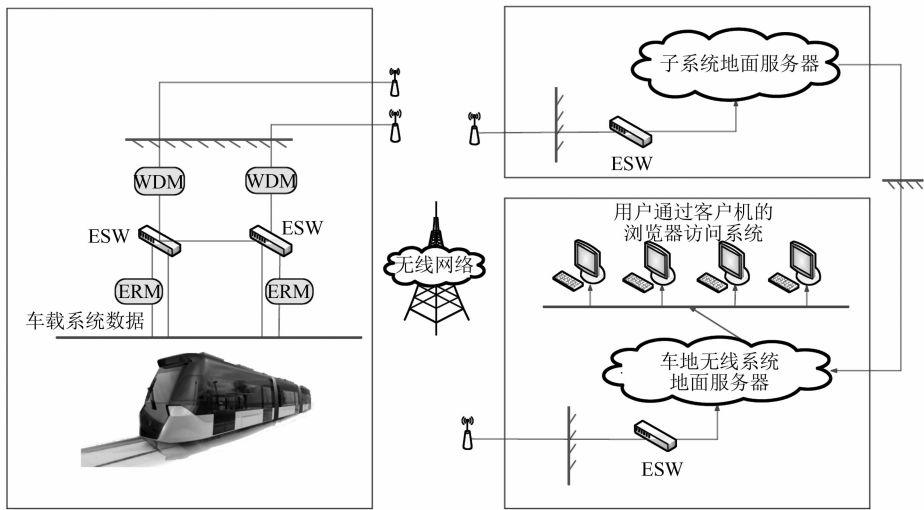
车地无线传输系统可实现车辆实时数据在线监控和历史数据的地面存储及分析评估等功能。列车数据通过车载设备, 由车地无线传输通道传输到地面服务器, 地面服务器同时可集成子系统智能诊断结果, 数据经地面服务器软件解析处理后存在数据库中, 再经分析统计后形成界面、报表, 向用户展示车辆运营、故障诊断等汇总信息。通过对列车数据的实时监控处理、统计分析和数据挖掘, 可实现对列车运行状况的全程跟踪及故障实时报警, 为

<sup>\*</sup> 国家重点研发计划项目(2017YFB1201003-13)

车辆运维与快捷服务提供决策支持。

### 1.1 系统架构

车地无线传输系统架构如图 1 所示。各车载设备通过列车以太网总线直接或间接与三层以太网交换机相连,通过车载无线模块与地面搭建起的车地无线传输通道将运行、故障及状态数据等信息实时传输到地面服务器,车地无线传输通道采用 TCP(传输控制协议)进行数据传输,传输周期为 1 s。



注:——安全控制策略

图 1 车地无线传输系统架构

### 1.2 硬件构成

车地无线传输系统车载设备主要由 2 台 ERM(数据记录单元)和 2 台 WDM(无线传输单元)构成,地面设备主要由 1 台 Web 应用服务器和 3 台分布式数据库服务器构成。

地面系统部署完毕之后,用户可在任意一台与服务器处于一个局域网内的终端 PC 上使用浏览器通过网址来访问系统软件,系统最大可支持 300 个用户并发访问。

## 2 车地无线传输系统可靠性设计

车地无线传输系统作为列车与地面数据交互的重要桥梁,搭建有一套可靠的数据传输通道,以保证数据可靠落地,这是车地无线传输系统设计的重中之重。本节结合具体的数据传输过程,对系统的冗余设计、断点续传功能设计等可靠性设计方案进行了简要阐述。

### 2.1 车载数据传输到地面服务器过程

车载设备将数据按照特定周期发往列车以太网总线,冗余的数据记录单元 ERM 负责对列车以

系统支持各车载子系统将各自应用于大数据分析、故障诊断和预警分析的数据传回子系统服务器。各子系统分别对本系统数据进行大数据分析、诊断及预警后,将结果回传到车地无线传输系统地面服务器。车地无线传输系统服务器接收到子系统传输的结果数据后,将这些数据同列车网络数据统一进行处理,最终以图形、报表等形式展现给用户。

太网总线上各车载设备数据进行采集汇总。在默认配置中,ERM1 作为主记录单元优先对外发送数据,当 ERM1 故障时,ERM2 自动接替 ERM1 工作,从源头保证车地无线传输数据的可靠性。2 台 WDM 分别与地面搭建起了 2 条无线传输通道,通过 3 层以太网交换机的应用,实现对 2 条无线传输通道优先级的配置以及对通道状态的监测。正常的情况下,由 ERM 发出的数据经由 WDM1 以 4G/Wi-Fi 的形式实时发往地面服务器,当该线路出现故障时,数据传输通道自动切换到优先级较低的传输通道。传输到地面服务器的数据经过地面服务器解析后,将以图形、报表等形式直观地呈现给接入地面局域网内的所有用户。车载数据传输到地面服务器的过程如图 2 所示。

### 2.2 地面服务器数据传输到车载设备过程

车地无线传输系统可满足地面用户对连接到列车以太网总线上的车载设备进行维护的需求,并且支持在多列车同时在线的情况下,地面用户对不同列车同一设备进行访问。用户通过局域网内的终端 PC 发出的数据经地面无线收发装置以 4G/Wi-Fi

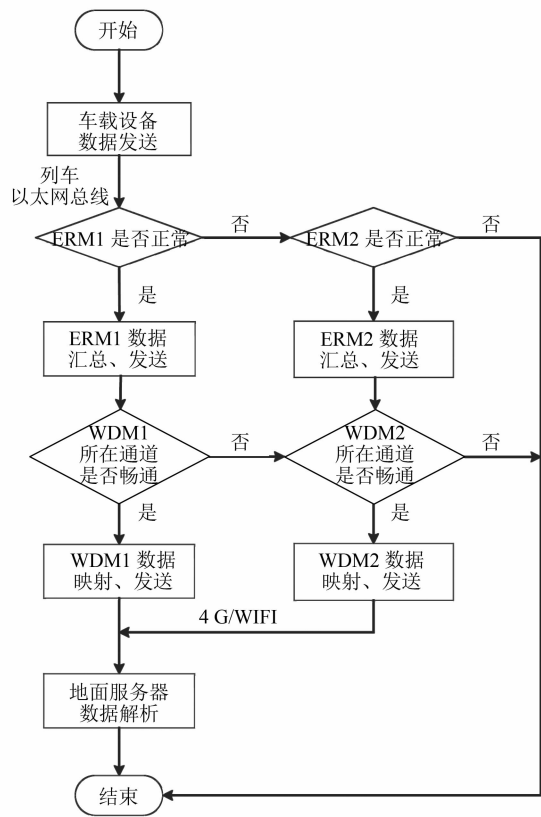


图2 车载数据传输到地面服务器过程

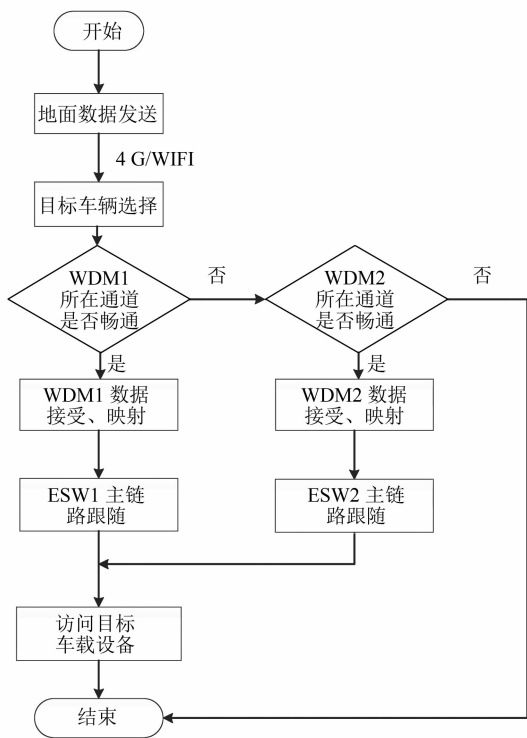


图3 地面服务器数据传输到车载设备过程

的形式发往目标设备所在列车车载 WDM。在默认配置中,WDM1 所在通道作为主传输通道负责车地间数据的传输,当 WDM1 所在线路故障时,数据传输通道自动转为 WDM2 所在通道。车载 3 层以太网交换机可实现对车地无线传输通道主传输链路的自动跟随。数据经地址转换后,通过列车以太网总线直接发往目的设备,进而完成对车载设备的远程维护。数据上车过程如图 3 所示。

2.3 断点续传功能设计

无线信号的强度与距无线基站的距离平方成反比,距离无线基站越远,无线信号越差<sup>[5]</sup>。车辆运行过程中,存在局部线路网络信号质量差,甚至无信号的情况,由此会导致数据传输质量下降甚至中断。本文设计的车载无线通信模块支持 4G/Wi-Fi 网络制式在预设条件下的冗余切换,该模块可同时接入两种网络,由此大大缩短了切换后因重建网络链接造成的切换时延,由通道切换造成的传输中断时延可控制在 2 个传输周期以内。对于因网络切换和网络信号消失造成的数据传输中断,ERM 支持对中断期数据的存储,当传输通道恢复后,系统将以 200 ms 的周期以先缓存先推送原则优先将缓存

区数据快速向地面服务器推送,缓存区清空后,系统重新恢复以 1 s 的传输周期将车载数据向地面服务器派发。断点续传功能的设计,保证了数据传输的连续性和完整性,提高了系统在数据传输阶段的可靠性,该功能模块控制逻辑如图 4 所示。

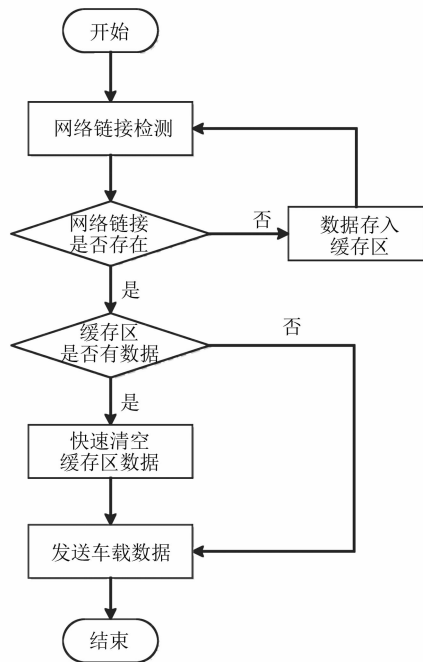


图4 车载无线通信模块断点续传功能控制逻辑

### 3 车地无线传输系统安全性设计

#### 3.1 车辆网络安全策略设计

车地无线传输系统支持地面服务器对车辆车载设备的远程访问,这为远程维护提供便利的同时,也带来了外部设备恶意访问车辆内网的风险。结合工业局域网接入点数量有限等特点,通过对 WDM 模块黑白名单的建立及基于通信类型、数据特征的安全控制策略的应用,可对允许接入车辆内网的白名单成员进行限定,甚至可以对特定特征的数据包进行限定,拒绝不在安全策略允许范围内的非法访问。由此,一定程度上保证了车辆内网的安全性。

#### 3.2 无线数据传输安全策略设计

车地无线通信采用动态加密机制,由 ERM 发

往地面服务器的每一包数据均附有按照特定加密策略生成的动态密钥,只有能够正确解析密钥的地面服务器才能对数据正确解析,进而保证了无线传输阶段数据的安全性。

### 4 车地无线传输系统服务器数据分析软件

#### 4.1 数据分析软件架构

服务器 Web 软件的显示结构和方案根据系统功能模块进行划分与设计。本项目数据分析软件分为实时监控、故障管理、数据应用、子系统智能诊断、系统管理等 5 大功能块,服务器数据分析软件功能框图如图 5 所示。

#### 4.2 数据分析软件功能

车地无线传输系统服务器数据分析软件实时接收 WDM 通过无线网络传输的运行数据、故障

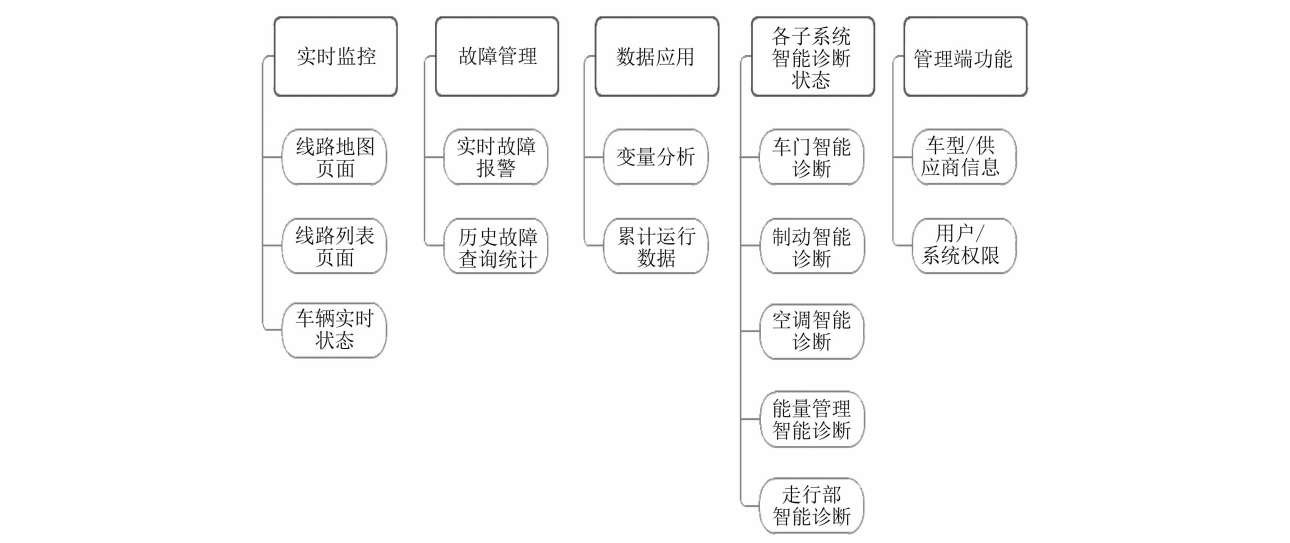


图 5 车地无线传输系统服务器数据分析软件功能框图

数据和定值数据,以及子系统传输来的经过处理过的智能诊断数据。通过服务器数据分析软件的大数据分析,实时监控功能块可实现对列车运行状态及相关设备状态的实时可视化监视功能;故障管理功能块可对已发生故障进行实时报告及统计,为运维人员及时处理可能影响列车运行的故障提供数据支持,进一步提高了车辆运行的安全性;数据应用功能块通过对特定时间内列车数据的分析,可对车辆故障原因查找分析提供有效的数据支撑,该功能对故障预警同样具有重要的指导意义;子系统状态智能诊断功能块支持子系统诊断预警信息查询功,子系统云平台通过子系统智能诊断预警信息推送接口推送预警数据,预警数据经服务器统一处理

后,各子系统的预警数据将以列表的形式展现在用户面前。

#### 4.3 故障管理功能块界面效果图

故障管理功能块主要分为实时故障报警及历史故障统计两部分,实时故障报警界面以列表的形式显示目前线路列车的尚未处理的所有故障,历史故障查询统计界面显示以多维度查询的列车故障统计结果。由 WDM 传输至地面服务器的故障数据经数据处理后,展现给用户的页面效果图如图 6 所示。

### 5 结 语

本文介绍的无接触网有轨电车车地无线传输

(下转第 148 页)

能力。

1) 供电能力裕度计算。计算设备负载率、电缆载流、母线电压、牵引网网压及钢轨电位等。

2) 针对运营计划的供电系统模拟。根据列车运行图校核不同排车计划下的供电系统运行能力。

3) 极限情况下运行能力分析。根据模拟运行图计算不同调度方案下的最大排车能力。

#### 4 结语

重庆环线的东北半环段已于 2018 年 12 月 28 日正式开通试运营。其控制中心电力调度系统的建设工作保证了重庆环线供电系统安全可靠地运行,使 PSCADA 系统向规范化、标准化方向发展,以迎接绿色节能的城市轨道交通新时代。

重庆环线 PSCADA 系统在规范化及标准化方面的探索和创新,为后期线网平台 PSCADA 系统建设,以及 PSCADA 与其它系统互联互通奠定技术基础。重庆环线 PSCADA 系统采用独立组网方式,形成自立的分层分布式系统结构,并在控制中心与综合监控系统互联。基于 IEC 61970—2014 标准,控制中心的电力调度系统扩展建立了 CIM。标准

CIM 的建立使重庆环线电力系统的高级分析应用得以实现。重庆环线 PSCADA 系统的程序控制技术、远程图形服务技术,以及其在能源管理及其他高级应用方面的成果,能够为其他城市 PSCADA 系统的建设提供借鉴。

#### 参考文献

[1] 周尚明.轨道交通供电安全生产管理体系浅述[J].中国新技术新产品,2017(3): 138.

[2] 周尚明.电阻-逆变型再生制动能量地面吸收装置的节能分析[J].城市轨道交通研究,2013(12): 111.

[3] 杜李苹,李宇.城市轨道交通 PSCADA 系统集成方式与工程划分的分析[J].中国新技术新产品,2017(2): 6.

[4] 解凯,钱晓超.城市轨道交通线网指挥中心系统关键技术研究[J].现代城市轨道交通,2018(6): 53.

[5] 上海申通地铁集团有限公司.上海轨道交通能耗监测管理系统[J].交通节能与环保,2015(6): 13.

[6] 董存祥.基于综合监控系统的城轨交通节能研究[J].铁道标准设计,2014(8): 168.

[7] 谷峰,王耀辉,湛锋.基于 Matlab 的地铁列车牵引模型研究及其仿真[J].工业控制计算机,2017(12): 39.

(收稿日期:2019-04-01)

(上接第 143 页)



图 6 历史故障统计查询界面效果图

系统,通过大数据分析技术、物联网技术的应用,实现了列车数据集与地面设备高速、高质量实时交互以及基于大数据运用的全生命周期的状态监测与故障预警功能,能够满足用户对车辆实时监控、数据智能分析等智能运维方面的需求,可提升列车综合检测信息的安全性、高效性、便捷性,可提高无接触网有轨电车车地传输技术和智能化应用水平。

同时,该系统具有较强的可扩展性,使其可满足各类城市轨道交通列车的应用需求,在有轨电车领域拥有较好的应用前景。

#### 参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会现代有轨电车分会.中国有轨电车现状与发展[J].城市轨道交通,2018(7): 44.

[2] 刘丙林,朱佳,李翔宇.城市轨道交通车辆智能运维系统探索与研究[J].现代城市轨道交通,2019(6): 16.

[3] 代娇.基于工业以太网的地铁列车通信网络实时性及仿真研究[D].北京:北京交通大学,2016.

[4] RAHAT I, FAIYAZ D, BRIAN M, et al. Big data analytics: Computational intelligence techniques and application areas[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020: 153.

[5] 武大权.高速铁路车地无线数据传输高可靠性和高实时性的研究与实现[D].北京:北京交通大学,2014.

(收稿日期:2019-11-25)